

SCIENTIÆ studia, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 243-262, 2017



Reduccionismo, leyes naturales y complejidad: diferentes estrategias de investigación y explicación científica

Maximiliano MARTÍNEZ

Eduardo GARCÍA

Catherine BERNAL



RESUMEN

En este artículo, exponemos algunas de las críticas al enfoque reduccionista y al concepto de “ley de la naturaleza”, para luego defender la necesidad de un enfoque alternativo en la ciencia y su filosofía. Sin pretender ser exhaustivos, dada la enorme literatura al respecto, buscamos mostrar en una primera parte cómo las nociones duras de reduccionismo y ley son blanco de críticas poderosas que nos obligan a replantearnos la utilidad de las mismas. En la segunda parte de este artículo, mostramos cómo un enfoque alternativo que se ha venido posicionando protagónicamente en las últimas décadas, el de la complejidad, puede superar varias de las debilidades de los conceptos recién mencionados y abrir nuevos horizontes para la investigación científica, los cuales resultan más acordes con el estado actual de la ciencia y de nuestro conocimiento cada vez mayor del mundo. Finalizamos con algunos ejemplos en donde se evidencia que una aproximación compleja, holista, resulta más provechosa que una aproximación rígida y tradicional enfocada en reduccionismo y leyes.

PALABRAS-CLAVE • Reduccionismo. Leyes. Complejidad. Cognición. Cooperación. Causalidad.

INTRODUCCIÓN

El reduccionismo científico como estrategia de investigación y como meta epistemológica, así como postura ontológica en la ciencia, ha sido objeto de numerosos embates en las últimas décadas. Los avances en disciplinas como biología, física, epidemiología, psicología y neurociencias, entre otras, han mostrado con suficientes argumentos teóricos y evidencia experimental la necesidad de considerar aproximaciones de tipo más holístico, complejas, no reduccionistas, que involucren diversos niveles de organización y en donde ninguno se considere como más fundamental. Aunque hay un debate en torno a cuántos y cuáles son los niveles existentes en la naturaleza, es un hecho que esta última se organiza de manera jerárquica desde los mismos inicios de

la vida, al tiempo que la evolución procede mediante transiciones hacia incrementos paulatinos en los niveles de organización. Suponer un nivel como fundamental, sea éste superior o inferior, sería desconocer la organización de la naturaleza misma, las dinámicas de la evolución y la tendencia hacia el incremento de la complejidad.

No sólo el reduccionismo ha recibido críticas importantes. Otro concepto fundamental de la ciencia que ha sido cuestionado es el de “ley de la naturaleza”. La noción de “ley” como objetiva, inquebrantable, universal y necesaria, ha sido paulatinamente abandonada en pos de conceptos menos rígidos y categóricos como el de regularidad o leyes no irrestrictas con cláusulas *ceteris paribus*. De nuevo, avances en distintas disciplinas como las mencionadas arriba muestran no sólo innumerables excepciones y contraejemplos a la definición de ley universal, también evidencian lo incómodo de intentar mantener una noción tan rígida en áreas de la investigación científica que muy bien pueden prescindir de ella, como la biología, la psicología, la neurociencia etc.

En este artículo recapitularemos brevemente algunas de las críticas tanto al enfoque reduccionista como al concepto de “ley”. Sin pretender ser exhaustivos, dada la enorme literatura al respecto, buscaremos mostrar en una primera parte cómo las nociones duras de reduccionismo y ley son blanco de críticas poderosas que nos obligan a replantearnos la utilidad de las mismas. En la segunda parte de este artículo, defendemos que un enfoque alternativo que se ha venido posicionando de forma protagónica en las últimas décadas, el de la complejidad, puede superar varias de las falencias de los conceptos recién mencionados, abriendo nuevos horizontes para la investigación que resultan más acordes con el estado actual de la ciencia y de nuestro conocimiento cada vez mayor del mundo. Finalizaremos con algunos ejemplos en donde una aproximación compleja, holista, resulta más provechosa que una aproximación rígida y tradicional enfocada en reduccionismo y leyes.

1 REDUCCIONISMO

Desde la década de 1970, con el decaimiento de la filosofía de la ciencia clásica basada en el modelo nomológico-deductivo y con el cambio de foco de aquella, de la física hacia la biología, se dieron numerosos e importantes replanteamientos en la forma de abordar, analizar y reflexionar sobre el quehacer científico y sus mismos objetivos de investigación. La noción de explicación, lo que se entiende por ella, fue objeto de sendos debates y discusiones, principalmente aquella basada en objetivos reduccionistas y fincada en el concepto de “ley de la naturaleza”. Tres temas provenientes de la biología promovieron cuestionamientos determinantes: uno, el amplio consenso de que no existen leyes en biología (y sin embargo la biología es una ciencia que explica y

predice); dos, no hay teorías ni niveles fundamentales o privilegiados desde los cuales generar reducciones (teóricas u ontológicas); tres, buena parte de las explicaciones biológicas son de tipo histórico. Más recientemente, con el auge de la filosofía de la ciencia mecanicista por un lado, y con el resurgimiento de la filosofía de la ciencia basada en prácticas por el otro, se afianzó la postura acerca de la precariedad de las explicaciones nomológicas o legaliformes en la biología.¹ Asimismo, con la consolidación de las ciencias de la complejidad se evidenció aún más la necesidad de adoptar explicaciones que involucren, en equivalencia causal, diversos niveles de organización causal y diferentes escalas de tiempo, como las que vienen desde los enfoques de la complejidad. A continuación, mencionamos algunas de las importantes críticas al enfoque reduccionista y a la noción de ley de la naturaleza. Posteriormente señalaremos qué es lo que aportan o promueven las explicaciones de corte más holista y plurales como las que vienen desde los enfoques de la complejidad, mostrando varios ejemplos que evidencian su utilidad y versatilidad.

El reduccionismo ha sido la forma en la que la ciencia moderna ha operado prácticamente desde su surgimiento, siendo visto como una estrategia que busca simplificar y unificar, en un plano ontológico, epistemológico y metodológico, distintos ámbitos y dominios hacia un constituyente básico que permita explicar, predecir y manipular la complejidad y diversidad presentes en la realidad.² Por tal motivo, al preguntarnos sobre este modo de investigación nos preguntamos por una tradición no sólo científica sino filosófica que nos dice también cómo se ha comprendido el mundo, lo que conlleva un conjunto de ideas acerca de su ontología y la epistemología que se posiciona como más adecuada para comprenderla. Así, estas ideas sobre la realidad y su conocimiento se relacionan de manera recíproca con el pensamiento reduccionista en el que se ha desarrollado tradicionalmente la investigación científica, promoviendo un proyecto de unificación y conllevando un progreso cognitivo debido al incremento en el conocimiento y mejora del cuerpo de teorías que son designadas para explicar y hacer predicciones (cf. Van Riel & van Gulick, 2014).

¹ Vale la pena mencionar que, al menos en la biología estructuralista (Newman *et al.*, 2006), se formulan explicaciones de tipo físico-químico y aún se acude a la noción de leyes para describir la morfogénesis básica de los organismos. Sin embargo, dado su engranaje con propiedades contingentes (genéticas y ambientales), su conceptualización está lejos de ser aquella noción clásica de ley universal. También es necesario mencionar que McShea y Brandon (2010) proponen que la única ley fundamental en la biología es la del aumento de la diversidad y complejidad (una tendencia espontánea de la evolución).

² Para un análisis de la distinción entre reduccionismo ontológico, epistemológico y metodológico ver Diéguez (2012, cap. 8) y Brigandt y Love (2012). Para una crítica de la explicación modelo reduccionista desde la filosofía de la ciencia centrada en prácticas, ver Martínez y Huang (2015, cap. 6).

De igual forma, la búsqueda de un constituyente básico material para explicar los fenómenos que se presentan al ser humano es una herramienta que le ha ayudado a éste en la búsqueda de la simplificación y unidad del mundo para comprenderlo (cf. Ayala, 1998, p. 13).³ Este tema no se ha quedado en el ámbito metodológico, pues las implicaciones del reduccionismo han derivado al ámbito epistemológico y ontológico, llevándolo a ser relevante también para la reflexión de la filosofía de la ciencia y, en particular, de la filosofía de la biología, disciplina en donde es uno de sus temas fundadores (cf. Caponi, 2004, p. 33). Es preciso señalar que al ser humano le ha sido necesaria la utilización de una herramienta de conocimiento reduccionista para poder atender y comprender fenómenos de la realidad que se le presentan inaprensibles para sus capacidades cognitivas (privilegiando un nivel de organización o elemento como básico de todos los demás fenómenos). Una actitud epistemológica de este tipo supondría que, en la experiencia, la descomposición de fenómenos a un nivel de organización básico le sería más accesible al ser humano para comprender la realidad cf. (Suárez, 2005, p. 49-50; Wimsatt, 2007).

Ahora bien, a pesar de las bondades del reduccionismo, diversas voces desde la filosofía de la ciencia proponen que un nuevo enfoque científico, más acorde con los avances científicos contemporáneos, debe basarse en la complejidad, ya que esta es una categoría que propone integrar (sin simplificar ni unificar) la incertidumbre al conocimiento del mundo, la contingencia y la pluralidad que se encuentran latentes en la naturaleza (cf. Mitchell, 2009). Claro, no es que la complejidad no fuera intrínseca a los fenómenos que el modelo científico tradicional explica con éxito, sino que parte de una lectura rígida del reduccionismo consistía más bien en obviarla, relegándola a la categoría de error o anomalía parcial.

De esta forma, sostenemos que la complejidad es una característica ontológica de la naturaleza y, por su parte, el reduccionismo es una estrategia epistemológica que se ha desarrollado acorde a las capacidades cognitivas humanas. Por tanto, al hablar de reducción y complejidad no se puede hablar de una contraposición de modelos de ciencia ya que corresponden a dominios distintos. Ambos modelos son más bien complementarios, pues cuando la complejidad se plantea como estrategia epistemológica para atender fenómenos que se muestran poco susceptibles de ser explicados mediante modos reduccionistas, es necesario apelar, de forma pluralista, al engranaje de distintas disciplinas científicas, buscando conexiones múltiples que ayuden a dar una explicación más robusta, abarcante, compleja. De este modo, no apuntamos aquí que el reduccionismo ha sido incorrecto, sólo señalamos que es una forma de expli-

3 El reduccionismo ha sido utilizado como una tesis epistemológica, es decir, que pretende decir algo acerca de nuestro conocimiento, y es necesario que la distingamos de una tesis ontológica, también llamada fisicalista, que trata de la realidad de las cosas en el mundo (Diéguez, 2012, p. 189). Como mencionan Rosenberg y McShea (2008, p. 125) “todos los biólogos son fisicalistas, aceptan que los procesos de estudio son físicos, materiales y no espirituales.”

car no exclusiva ni exhaustiva, que puede ser punto de partida o complementarse con otros enfoques explicativos. Dado el estado actual de la ciencia y las reflexiones epistemológicas, las posturas ontológicas y las metodologías de investigación que de allí se desprenden, existe una tendencia a que las explicaciones complejas, holistas y no reduccionistas se consoliden cada vez más en las diversas disciplinas, razón por la que no sorprende que estén a la orden de día.

El objetivo de unificar un campo de diversos dominios, como la ciencia, suena acorde con la idea de reducir teorías o explicaciones, para lo que se necesita un ámbito básico, o dominio, que pueda dar la pauta de cómo debe operarse en los demás. No queremos señalar que aquello sea una mala estrategia ni tampoco errónea, sin embargo, el interés creciente por los organismos, el medio ambiente, la comunicación o la sociedad han dado como resultado una mayor atención a innumerables fenómenos que no son posibles de comprender bajo un modelo que busque la reducción de su complejidad. Es ahí donde, sin rechazar la manera en que ha habido progreso científico, se busca cambiar el marco del proyecto base de la ciencia, para que ésta pueda tener un fundamento no en la unidad sino en la diversidad. De esta forma, el reduccionismo deja de ser un fin en sí mismo en donde se encuentra el conocimiento y la explicación, para convertirse en un primer paso, necesario, hacia la generación de un conocimiento holista apoyado en las diversas líneas, disciplinas y enfoques que se han desarrollado con cada especialización de un dominio específico de la ciencia. Con esto se reconoce que existen diversos niveles de organización, pero teniendo claro que esto no determina que ciertos fenómenos básicos y las leyes o regularidades que los explican sean los únicos a los que podemos considerar como verdaderos o reales y, por consiguiente, a los demás como compuestos ilusorios que deban simplificarse.

2 LEYES NATURALES

Una de las herencias que dejó el modelo nomológico-deductivo a la filosofía de la ciencia fue la importancia en la explicación científica de la noción de ley. Las leyes no son cualquier tipo de generalización, son del tipo que llamamos “generalizaciones nómicas” entendidas como regularidades legaliformes universales. La modalidad nómica toma como irrestrictas a las leyes naturales (cf. Díez & Moulines, 1993, p. 128). En la naturaleza hay infinidad de regularidades y la ciencia se ha enfocado, principalmente, en aquellas catalogadas como leyes irrestrictas y no accidentales. Por ello, para muchos filósofos de la ciencia, las leyes son una parte fundamental del conocimiento científico (cf. Curd & Cover, 2007, p. 805). Desde el modelo nomológico deductivo de explicación, una ley natural debe ser universal, tener alcance ilimitado, no referir a particulares y sus predicados deben ser puramente cualitativos. Para distinguir a éstas

de las leyes accidentales sería necesario establecer que una ley de la naturaleza no designa ningún objeto en particular. Algo verdadero es nómicamente necesario, es decir: “si y sólo si su negación contradice las actuales leyes naturales, esto es, si no hay modo de describir una situación en la que sea falso y sigan cumpliéndose las leyes naturales que de hecho rigen la naturaleza” (Díez y Moulines, 1993, p. 131).⁴

Ahora bien, a pesar de su éxito operacional y su intuitiva firmeza, la noción de ley universal y necesaria que se desprende del modelo nomológico deductivo ha sido objeto permanente de cuestionamientos, varios de ellos insalvables. No abundaremos aquí en los problemas de la simetría y de la relevancia, contraejemplos al modelo ampliamente conocidos. En este apartado nos concentraremos más bien en las críticas al carácter universal e irrestricto de las leyes.

Para diversos autores, las leyes son o bien contingentes Mitchell (cf. 2000, 2009), o bien falsas (cf. Cartwright, 1980), o bien no objetivas (cf. Van Fraassen, 1989) o bien mero reflejo de ideas teológicas del medioevo (cf. Giere, 1995). Por ejemplo, Giere propone que todas las prácticas humanas están incrustadas en marcos interpretativos. Así, los científicos buscan leyes como un imperativo de su cotidianeidad de investigación, pero al no percatarse que lo hacen desde un marco de interpretación, consideran que realmente la naturaleza se rige por leyes irrestrictas, siendo que este concepto es parte del contexto de quienes se encuentran participando de la práctica científica (cf. Giere, 1995, p. 120). Para este autor, aunque las leyes naturales se han caracterizado por ser verdaderas, universales, necesarias y objetivas, una historia conceptual (ni siquiera muy profunda) permite ver que la idea de ley natural deriva de una noción teológica del medioevo en donde las leyes son una expresión divina, refleja, de un ente superior que no pudo más que echar a andar el mundo con unas leyes tales. A pesar de que este concepto heredado de la Edad Media se secularizara siglos después con el nacimiento de la ciencia moderna, no se ha puesto la suficiente seriedad al contexto para comprender que esta noción científica correspondió a un periodo histórico y, sin embargo, como Giere plantea, en la modernidad es posible concebir a la ciencia sin leyes. Estas consisten en idealizaciones fabricadas por los humanos para ser utilizadas en la construcción de modelos que representen aspectos específicos del mundo (cf. Giere, 1995, p. 130-5).

De otra parte, ante la acusación a las ciencias biológicas de blandas por no explicar mediante leyes naturales, Mitchell (2000) argumenta que ciencias como la biología no es que estén erradas, promulguen pseudo-explicaciones y deban ajustarse a otro tipo de explicación. Lo que se requiere es cambiar el estatus de la noción misma

⁴ Dado que modelo de explicación nomológico deductivo o de ley de cobertura tiene la estructura de un argumento deductivo, según Hempel (1965), puede esquematizarse de la siguiente forma:

Ley general

Hecho particular (*explanans*)

Fenómeno por explicar (*explanandum*)

de leyes naturales, esto es, no conceptualizarlas como si fueran una característica de una naturaleza que se compone de relaciones simples; más bien entenderlas como modelos propuestos que buscan un grado de precisión (más o menos contingente, más o menos necesario) que nos permita hablar de un aspecto particular del mundo, pero contemplando el contexto en el que se desarrollan. Esto contrasta con las características que antes se habían planteado de universalidad y necesidad y permite explicar, con un recurso a la contingencia, los fenómenos complejos que abundan en la naturaleza. Mitchell defiende, a partir de una postura pragmática, un marco conceptual multidimensional con el fin de bloquear la dicotomía ley/accidente en la ciencia, en donde las leyes sean conceptualizadas de forma diferente, en un marco complejo que abarque una gran variedad de perspectivas epistemológicas y ontológicas (cf. Mitchell, 2000, p. 244-6). Para Mitchell, las leyes postuladas en todas las disciplinas presuponen contingencia, pues esta, al ser una propiedad intrínseca a la naturaleza, permea a todas las ciencias. Este grado de contingencia presente en todos los usos del concepto de ley no ha sido evidente debido al arraigo de pensamientos dicotómicos que rechazan el error y la desviación de la norma. La diferencia entre las leyes o regularidades señaladas por las distintas disciplinas no recae, así, en una cuestión de clase mediante la cual se pueda determinar en cuáles ciencias hay leyes y en cuáles no; es más bien una cuestión de grado: hay leyes (o generalizaciones) más estables que otras, pero en ese espectro todas admiten al menos un mínimo de contingencia (cf. Mitchell, 2000, p. 254-9).⁵

Ahora bien, no es propósito de esta sección describir las innumerables críticas a la noción de ley, nuestro objetivo es mostrar varios de los argumentos usados para dar cuenta de la pérdida de su rol protagónico en la explicación de la naturaleza que hacen las diferentes disciplinas científicas. Por ello mismo, finalizamos este apartado con una cita de Carroll quien señala de forma muy precisa la objeción de Cartwright al concepto de ley universal:

Cartwright ha argumentado que los aspectos descriptivo y explicativo de las leyes chocan entre sí. Interpretadas como descripciones de hecho, son falsas; enmendadas para ser verdaderas, pierden su fuerza explicativa. Considere el principio gravitacional de Newton, $F = Gmm'/r^2$. Propiamente entendido, de acuerdo con Cartwright, expresa que para dos cuerpos cualesquiera la fuerza entre ellos es Gmm'/r^2 . Pero si es eso lo que la ley dice, entonces no es una regularidad irrestricta. Ello porque la fuerza entre dos cuerpos es influida por más propiedades

⁵ Para Mitchell (2000, 2009) el problema ha sido la idea de la no restricción que se supone tienen las leyes físicas. Según ella, la universalidad sin excepciones y la necesidad parecen inalcanzables incluso para las leyes físicas (no solo las de la biología o las ciencias sociales). Mitchell desarrolla su propuesta desde un punto de vista pragmático que le permite proponer que no hay leyes ni lógicas ni nómicamente necesarias, sino que en la ciencia todas admiten grados de contingencia. Así las ciencias sí estudian leyes, algunas de éstas tienen más fiabilidad y menos mutabilidad. Pero sería una cuestión de grados de contingencia, no de necesidad y universalidad (cf. Mitchell, 2009, p. 54-5)

que su mera masa y la distancia entre ellos, tal como la carga de los dos cuerpos descrita por la ley de Coulomb. El enunciado del principio gravitacional puede ser enmendado para hacerlo verdadero, pero ello, de acuerdo con Cartwright, al menos sobre ciertos estándares, lo privaría de su poder explicativo. Por ejemplo, si el principio se toma como únicamente sosteniendo que $F = Gmm'/r^2$ si no hay otras fuerzas diferentes a la gravitación operando, entonces sería verdadero, pero sólo aplicaría en circunstancias idealizadas (...). Cartwright cree que las leyes verdaderas no son regularidades irrestrictas, sino más bien son enunciados que describen poderes causales. Así construidas, resultan tanto verdaderas como explicativas (Carroll, 2010, sección 9.1).

3 COMPLEJIDAD

Si la noción de ley universal y el enfoque reduccionista no son considerados más como las bases fundamentales de la explicación científica, ¿qué aportes, novedades y complementos traen las propuestas basadas en la complejidad? El arraigo y utilidad de la visión reduccionista es entendible si nos percatamos que la determinación y comprensión de las partes constitutivas de una entidad o proceso son un paso necesario para explicar fenómenos complejos, mas no suficiente. En el caso de un sistema complejo, éste puede ser tratado y comprendido sólo si se considera una variedad de enfoques que simplifiquen la explicación sin menguar o perder la integridad del fenómeno inicial (cf. Alberts, 2002, p. 379). Cuando se trata de fenómenos complejos vale la pena hacer esta distinción entre reduccionismo y simplificación, pues el reduccionismo es un paso necesario para generar explicaciones que puedan conjuntarse, no así la simplificación.

Los conceptos de “robustez” y “triangulación” (cf. Wimsatt, 2007) resultan adecuados para enmarcar el aporte de la complejidad, la cual supone abordajes y explicaciones más holistas. De acuerdo con Wimsatt, la robustez es un método de investigación rico y dependiente del contexto que nos brinda un criterio último para determinar qué es real y qué no. De igual forma, permite detectar el error y o bien generar nuevas hipótesis o bien calibrar los medios usados de detección. Si la realidad ofrece múltiples perspectivas, entonces el mejor modo de comprenderla, de explicarla, de conectar su complejidad, pasa por la robustez. Este concepto es similar al de “triangulación” de Campbell, el cual refiere a la posibilidad de usar diferentes medios para capturar la realidad de un objeto de estudio: “el uso de múltiples medios independientes para detectar, derivar, medir, manipular, o, de igual forma, para tener acceso a entidades, fenómenos, propiedades y otras cosas que queremos estudiar” (Wimsatt, 2007, p. 37). Es decir, la robustez o triangulación permiten detectabilidad vía medios múltiples e independientes. Así las cosas, no se trata de llevar a cabo reducciones o parcializacio-

nes como fines en sí mismos. Lo que queremos señalar aquí es que una forma modesta de reduccionismo es compatible con el abordaje científico de la complejidad. Como señalamos arriba, el reduccionismo habla más de las capacidades cognitivas de los seres humanos que de la realidad que se presenta compleja en la mayoría de los fenómenos naturales, principalmente los biológicos (por ejemplo, la cognición, la selección natural, el desarrollo embrionario, la simbiosis, enfermedades como el cáncer, la evolución, la diversidad, la construcción de nicho etc.). Estos últimos involucran distintas entidades, relaciones, niveles, escalas de tiempo, escalas espaciales etc., por lo que resulta difícil mantener la idea de que una estrategia reduccionista y la postulación de una ley o unas cuantas leyes pudieran dar cuenta de ellos. Metodologías y explicaciones robustas, holistas y multinivel lucen más adecuadas para buena parte de la biología. Como afirma Caponi,

lejos del económico y elegante conjunto de leyes que caracteriza a las teorías físicas, las teorías de la biología evolucionaria funcionan, es decir, explican los hechos que ellas se proponen dar cuenta con base en un heteróclito y siempre creciente conjunto de mecanismos causales particulares que parece refractario a una presentación unitaria y sistemática (Caponi, 2012, p. 165).

De lo que se trata entonces es de cambiar el marco teórico por uno holista, multinivel, multicausal y pluridisciplinar que represente la complejidad de la realidad y nos permita mejores explicaciones y metodologías científicas, tomando en cuenta que ninguna ley puede representar exactamente el mundo, asumiendo a la vez las restricciones del conocimiento científico y las limitaciones de las estrategias reduccionistas (cf. Mitchell, 2009).

A continuación, exponemos algunos importantes casos en donde las explicaciones holistas y multinivel tienen un rol protagónico, evidenciando el giro hacia la complejidad que hemos enfatizado a lo largo de estas páginas.

3.1 COGNICIÓN Y COMPLEJIDAD

Hay una suposición general, en la filosofía de la ciencia y la filosofía de lo mental, de que la mente debe ser naturalizada (cf. Horst, 2007). La forma de hacerlo es reducir la mente (los estados y procesos mentales) a algo más básico que puede ser capturado en el lenguaje de la física, la neurociencia o alguna otra ciencia natural. En este orden de ideas, hay un debate actual entre naturalistas reduccionistas y materialistas no-reduccionistas, eliminativistas y dualistas. Esto no es novedad, pero el punto importante señalado por Horst es que, en general, los científicos y teóricos de la filosofía de la mente asumen en sus investigaciones que las reducciones inter-teóricas son usuales

y exitosas (son la norma) en la ciencia: que la química es reducible a la física, que la biología es reducible a la química y, por ende, a la física etc. Desde esta perspectiva, la mente se considera como una anomalía: las propiedades características de la mente, tales como la conciencia, la intencionalidad, la normatividad, no parecen ser reducibles a las actividades cerebrales o a ningún otro hecho especificable en el lenguaje de la ciencia. Sin embargo, de acuerdo con Horst, toda esta problemática está profundamente equivocada, pues es una consecuencia de sostener una errada concepción de la filosofía de la ciencia. El error consiste en asumir que las reducciones inter-teóricas son permanentes, exitosas y son la norma en las ciencias, error compartido tanto por los reduccionistas de lo mental como por sus opositores. Horst nos recuerda que el ideal del reduccionismo inter-teórico (como objetivo y como norma) fue fundamental en la filosofía de la ciencia en las décadas de los 1950 y 1960, pero en las décadas posteriores fue decisivamente rechazado. Curiosamente, en la filosofía de la mente de finales del siglo xx y comienzos del xxi, aún se sostiene, de manera central y acrítica, un ideal de reducción. Este anacronismo conlleva la adopción de dos presuposiciones equivocadas: (1) la mente es única en su carácter de irreducible; (2) las brechas explicativas en la ciencia se encuentran únicamente en los fenómenos mentales (conciencia, intencionalidad, normatividad). Pero, el punto central de discusión es que la mente no es el único nivel irreducible y el único en donde encontramos brechas explicativas. Por el contrario, las brechas explicativas y la irreducibilidad son ubicuas en la ciencia. Ahora bien, si estas premisas erróneas han guiado la filosofía de la mente en las últimas décadas, entonces se necesita repensarla y reorientarla profundamente, desde sus mismos fundamentos. Por tal motivo, para Horst, la filosofía de la ciencia post-reduccionista debe guiar esta profunda reforma en la filosofía de la mente, por lo que propone una alternativa al marco explicativo actual, llamado “pluralismo cognitivo”.

El pluralismo cognitivo es presentado por primera vez como una tesis en filosofía de la ciencia, como una respuesta a la pregunta de por qué las ciencias están “desunidas”, en el sentido de no ser reducibles a la física básica. Mi sugerencia es que esto es mejor entendido si consideramos a las ciencias como empresas cognitivas: empresas de modelización de características locales del mundo (y de nosotros mismos) en sistemas de representación particulares. Tales modelos son locales y fragmentados. Son además idealizados en una variedad de formas que pueden presentar barreras de principio para su completa integración en algo simple como un sistema axiomático. Esta perspectiva puede ser vista, en un respecto, como una forma de generalización de las visiones “misteriosas” ofrecidas por Colin McGinn y Stephen Pinker. Mientras McGinn y Pinker sugieren que las brechas explicativas psicológicas pueden ser una consecuencia de las limitaciones de nuestras facultades cognitivas, yo sugiero que las brechas representadas

por las fallas de la irreductibilidad en las ciencias naturales pueden ser entendidas de la misma manera (Horst, 2007, p. 5).

Ahora bien, más allá de las críticas de Horst, es claro que las teorías contemporáneas de lo mental se alejan cada vez más de los ideales reduccionistas y legaliformes de la filosofía de la ciencia más tradicional, adoptando enfoques de explicación holistas, complejos, de carácter multinivel. Dos ejemplos nos pueden servir para ilustrar esto. La tesis de Craver (2007), quien explica el cerebro a partir de la relación causal constitutiva de mecanismos multinivel basándose en los trabajos provenientes de las mismas neurociencias y demostrando la precariedad explicativa de los enfoques reduccionistas y de leyes.⁶ Para Craver, una explicación mecanicista debe dar cuenta de las múltiples características de un fenómeno, incluyendo sus condiciones de precipitación, manifestaciones, condiciones inhibitorias, condiciones de modulación, condiciones no-estándar y efectos colaterales. Así, las buenas explicaciones dan cuenta de todas estas características de un fenómeno, no de un subconjunto de ellos (cf. Craver, 2007, p. 161). Precisamente, en las neurociencias llaman la atención los tres elementos principales presentes en la explicación científica: describen mecanismos, abarcan múltiples niveles e integran trabajos y descubrimientos de diversas disciplinas. Para Craver, los mecanismos son entidades y actividades organizadas espacial, temporal, jerárquica y causalmente, de forma tal que exhiben el fenómeno *explanandum*; (2007, p. 6).⁷ Esta complejidad de la explicación, según Craver, contrasta con la explicación fisicalista como objetivo final, propuestas por los fundamentalistas (cf. Oppenheim & Putnam, 1958). En este caso, “los fenómenos sociales son explicados en términos de fenómenos psicológicos, los fenómenos psicológicos en términos de neuronas, los fenómenos neuronales en términos de moléculas, y los fenómenos moleculares en términos de las partículas físicas” (Craver, 2007, p. 14). Esto es una cadena reductiva de explicaciones que liga los fenómenos de los niveles superiores a los fenómenos de los niveles inferiores (2007, p. 16). Por el contrario, la meta de las explicaciones

6 Casanueva (en este mismo volumen) proporciona una interpretación de las leyes naturales que las hace compatibles con la idea de mecanismo.

7 Afirma Craver: “las explicaciones en neurociencia describen mecanismos. Algunas explicaciones mecanicistas son etiológicas, pues explican un evento al describir sus causas antecedentes. La deshidratación es parte de una explicación etiológica de la sed. Las proteínas priónicas son parte de la explicación etiológica de la enfermedad de Creutzfeldt-Jacob. La excesiva repetición del patrón de nucleótido CAG en el cuarto cromosoma es parte de la explicación etiológica de la enfermedad de Huntington. Otras explicaciones mecanicistas son constitutivas o de composición, pues explican un fenómeno al describir su mecanismo subyacente. El receptor NMDA es parte de la explicación constitutiva de LTP. El hipocampo es parte de la explicación constitutiva de la memoria espacial. Los iones son parte de la explicación constitutiva para el potencial de acción (...) la tradición de sistemas [contra la reduccionista] construye una explicación como un asunto de descomponer sistemas en sus partes y mostrar cómo esas partes están organizadas de forma tal que exhiben el fenómeno *explanandum*” (Craver, 2007, p. 108-9). Recordemos que para este autor las partes de los mecanismos neuronales no son en muchos casos visibles ni fácilmente separables o distinguibles de su contexto, pues están ampliamente distribuidos y conectados dinámicamente (cf. 2007, p. 4).

científicas (como la del sistema nervioso central, por ejemplo) es argumentar por la relevancia causal del fenómeno en múltiples niveles en una jerarquía de mecanismos no reductibles entre sí, mostrando por qué las explicaciones no-fundamentalistas son requeridas en la mayoría de los fenómenos (2007, p. 15). Los dos elementos principales de la explicación científica (describir mecanismos y abarcar múltiples niveles) se refuerzan con el tercer elemento: la integración de múltiples campos y disciplinas. Para Craver, la neurociencia incluye e integra aspectos de anatomía, psicología del comportamiento, biofísica, psicología cognitiva y del desarrollo, ciencias computacionales, biología evolutiva y molecular, endocrinología, etología, inmunología, neurología, neurofisiología, matemáticas, farmacología, física, fisiología y psiquiatría.

La otra postura multinivel de lo mental que queremos mencionar aquí es la de Moreno y Mossio (2015). Estos autores, basados en la noción de autonomía biológica proponen que el fenómeno cognitivo evoluciona y se organiza como una propiedad emergente y jerárquica que controla desde niveles superiores los niveles inferiores.

Desde la perspectiva autónoma, la cognición se refiere a la capacidad de control neurodinámico de nivel superior sobre procesos sensomotores y corporales. La cognición implica un mundo de interacciones significativas (percepciones con carga de valor) para los animales, y no consiste simplemente en la capacidad de sostener un comportamiento perceptivo guiado. Más bien, involucra de forma inherente el manejo exitoso de la atención y la regulación emocional. Las capacidades cognitivas emergen cuando las funciones de orden superior limitan específicamente los acoplamientos sensomotores, para permitir interacciones perceptivas lo suficientemente precisas y significativas (Moreno & Mossio, 2015, p. 189).

Como vemos, desde estas perspectivas acerca del fenómeno cognitivo no hay mucho espacio para intentos de explicaciones reduccionistas hacia entidades, causas o disciplinas fundamentales, así como tampoco lo hay para la defensa de leyes naturales universales. Al abordar un fenómeno, los trabajos en neurociencias involucran e interconectan múltiples niveles, causas y disciplinas, ninguno de los cuales se toma como básico o preponderante en los planos ontológico, epistemológico y metodológico.

3.2 COOPERACIÓN Y COMPLEJIDAD

El estudio del comportamiento social en animales, en la actualidad, constituye un amplio campo de investigación que abarca todos los niveles de organización biológica. Con los aportes de Hamilton (1964) se gesta la base para el desarrollo de la sociobiología (cf. Wilson, 1975), un programa de investigación centrado en el estudio sistemático de las bases biológicas del comportamiento que pretendía establecer el

origen evolutivo y funcional del mismo. Posteriormente autores como Trivers (1971) y Dawkins (1976), defendieron que la selección natural actuando a nivel genético es el núcleo para el estudio del comportamiento social. En estas propuestas, al igual que en Darwin, un problema central es la evolución del altruismo y la cooperación, ya que resulta un comportamiento paradójico a la luz de la teoría de selección natural individual. Hamilton, por ejemplo, sostiene que el altruismo no evolucionó para preservar al grupo, sino que la evolución de dicho comportamiento debe explicarse a partir del parentesco consanguíneo. La tesis fundamental de Hamilton (1964) asume que la selección natural no sólo actúa maximizando el éxito reproductivo individual, sino que llega más lejos tratando de extender el mayor número de copias de genes de un individuo en generaciones futuras, ampliando de esta manera el concepto de *fitness* al añadir un componente indirecto debido al éxito obtenido a través de las interacciones con parientes. Su propuesta se resume en la famosa “regla de Hamilton”, que define tres elementos: la relación genética (r) entre los individuos; el costo (c) que entraña el comportamiento altruista para quien lo emite; y la ventaja que representa un acto altruista para el beneficiado (b). La ecuación de Hamilton establece que $r \cdot b > c$, y propone que el altruismo evoluciona cuando r veces b es superior a c . Dicha fórmula permite prever cuando la selección natural favorece la aparición del altruismo, al conocer los costos y beneficios asociados a un acto altruista y el coeficiente de relación genética entre emisor y beneficiario. En este sentido, reedita ayudar a los parientes en proporción directa a su relación genética, calculada según la magnitud del beneficio que recibirán. En otras palabras, un gen altruista puede propagarse en una población si contribuye suficientemente a la transmisión de copias de sí mismo entre los parientes. Esta explicación del comportamiento cooperativo y altruista, complementada luego con el concepto de “altruismo recíproco” de Trivers, sentó las bases de la investigación de la cooperación en todas las especies, enfocándose primordial y fundamentalmente en el nivel genético. Sober y Wilson denominan a estas explicaciones clásicas (cf. Hamilton, 1964; Trivers, 1971; Axelrod & Hamilton, 1981) como la “teoría unificada del comportamiento social”, “donde se considera a los individuos como conjuntos de genes cuyo único objetivo es replicarse a sí mismos” (Sober & Wilson, 1998, p. 38). Se asume, desde esta perspectiva, que el conocimiento de los componentes en un nivel jerárquico inferior (el genético) permite la reconstrucción de los niveles más altos y suministra una comprensión exhaustiva de éstos (se excluyen las propiedades emergentes o la causación multinivel), lo que la sintoniza con las posturas reduccionistas y fundamentalistas mencionadas a lo largo de las páginas precedentes. Como vimos, buscar explicaciones omnicomprensivas desde los niveles inferiores de organización de los seres vivos hace que disminuya el poder explicativo de aquellas. En este caso, para determinar cuándo evoluciona una conducta social desde las explicaciones dadas por la “teoría unificada del comportamiento social” es suficiente conocer los costos c y

los beneficios *b*, a nivel genético, a los cuales se ven expuestos los individuos interactuantes. Esto implica que un fenómeno tan complejo como la cooperación se considere, en últimas, como una mera dinámica del nivel genético (entidades fundamentales micro propiciando su propio beneficio de *fitness* afectando unidireccionalmente al nivel fenotípico).

Ahora bien, desde mediados de los 1990 se han venido desarrollando importantes propuestas que cuestionan al nivel genético como fundamental y al cual deben orientarse las explicaciones sobre la cooperación. Buscando ampliar las aportaciones darwinianas y sin desconocer el importante papel de los genes, nuevas variables, elementos y enfoques se han sumado a la investigación y discusión de la cooperación, a saber, grandes transiciones (cf. Maynard-Smith & Szathmáry, 1995); selección de grupos (cf. Sober & Wilson, 1998); múltiples sistemas de herencia (cf. Jablonka & Lamb, 2005); sistemas en desarrollo (cf. Oyama, 2000); construcción de nichos (cf. Odling-Smee *et al.*, 2003) etc. A partir de estos nuevos enfoques, la discusión sobre la evolución de la cooperación se enriquece al involucrar otros niveles de la jerarquía de organización que hasta ahora no habían sido contemplados de forma importante en las discusiones sobre comportamiento social. En este sentido, Maynard-Smith y Szathmáry (1995) y Sober y Wilson (1998) consideran que la cooperación y el altruismo son fenómenos mucho más complejos que los modelados por la visión clásica, pues emergen a diversos niveles de organización biológica. Maynard-Smith y Szathmáry (1995) ofrecen un nuevo marco para continuar discutiendo la evolución de la cooperación a través de su proyecto de las transiciones evolutivas, argumentando que la cooperación no es una función periférica de la historia de la vida y de los genes, ni una forma de comportamiento que se encuentra sólo en unas pocas especies de animales sociales, sino que está presente a lo largo de los diferentes procesos evolutivos y se hace evidente en, al menos, ocho “grandes transiciones” en la evolución de la complejidad de los seres vivos. Estas transiciones transformaron de forma radical los contextos evolutivos, como por ejemplo la multicelularidad o el origen de la eusocialidad, que emergen como eventos cooperativos de entidades previamente individuales. Para Maynard-Smith y Szathmáry, una tendencia general en la historia de la vida es el aumento en complejidad que se puede explicar a partir de unas pocas transiciones evolutivas que comparten el siguiente aspecto común: “Entidades que eran capaces de replicarse independientemente antes de la transición, después de ella sólo lo pueden hacer como parte de un todo más grande” (Maynard-Smith & Szathmáry, 1995, p. 6). En otras palabras, cada “transición importante” parece producir (o ser producida) por una nueva forma de cooperación. En segundo lugar, estas transiciones descansan en un “cambio en el método de transmisión de información” (1995, p. 6) que conduce a un nivel de organización superior. Maynard-Smith y Szathmáry saben que no es suficiente señalar los beneficios *b* que posee la entidad de nivel superior. Por ejemplo,

una colonia de hormigas puede ser muy eficiente a la hora de explotar el ambiente, pero ello no explica por qué un individuo habría de sacrificar sus posibilidades de reproducción para ayudar a la colonia. Es en este contexto en donde toma relevancia la selección multinivel. Por ejemplo, Sober y Wilson (1998) y Okasha (2005) asumen que la selección natural puede actuar simultáneamente en los distintos niveles jerárquicos de organización biológica: en los genes dentro de los individuos; en los individuos dentro de los grupos de individuos; en los grupos dentro de las poblaciones; e incluso en niveles más altos. Para posicionar a la selección multinivel como una fuerza especialmente importante en la evolución de los organismos, tales autores señalan que las tres principales características de la selección natural (variación fenotípica, heredabilidad, y consecuencias adaptativas) también se presentan entre grupos de organismos. Las aproximaciones teóricas contemporáneas sobre selección multinivel permiten ampliar nuestra comprensión sobre los procesos que pudieron haber dado forma a las conductas altruistas y cooperativas que están tan extendidas en el reino animal, cuestionando la visión de la evolución centrada en el nivel genético. Hoy día las explicaciones sobre comportamiento social atienden a una compleja red de entidades y procesos interconectados que implican cooperación a todos los niveles de organización. Este enfoque de retroalimentación entre complejidad y cooperación es enfatizado en la actualidad por numerosos autores. Por ejemplo, Nowak y Highfield sostienen que “la cooperación es el arquitecto de la creatividad a través de la evolución, desde las células hasta los seres multicelulares, los hormigueros, los pueblos y las ciudades (...). Sin cooperación no puede haber ni construcción ni complejidad en la evolución” (Nowak & Highfield, 2014, p. 20). A su vez, Weiss y Buchanan (2009, p. 10) afirman que la vida a todos los niveles, de genes a ecosistemas, tiene que ver más con cooperación que con competencia. En suma, en contraste con la idea de que los campos que estudian y explican los fenómenos complejos desde niveles inferiores son siempre más fundamentales, se asume desde la perspectiva multinivel de la cooperación que la combinación particular de disciplinas y enfoques teóricos es un elemento crucial para hacer frente a un problema biológico complejo. La integración resulta así necesaria para la resolución de problemas científicos donde la misma naturaleza de estos determina el tipo de trabajo mancomunado requerido.

3.3 CAUSALIDAD BIOLÓGICA Y COMPLEJIDAD

El modelo clásico — lineal y ascendente — de causación en biología resulta inapropiado para capturar la complejidad inherente a la mayoría de los procesos biológicos (cf. Gilbert & Sarkar, 2000; Noble, 2006; Martínez & Esposito, 2014). Martínez y Esposito proponen que la causación multinivel es candidata pertinente para introducir una

distinta forma de explicación y comprensión de muchos de los fenómenos estudiados por la biología y evolución de los sistemas complejos: “el típico modelo reduccionista *bottom-up* de la causalidad es insuficiente para explicar y capturar lo que ocurre en la organización y evolución de los sistemas complejos” (Martínez & Esposito, 2014, p. 212). Para la biología, los organismos son sistemas complejos que interactúan de forma tal que involucran, causal y constitutivamente, múltiples niveles de organización. Esto no sólo a nivel ontogenético, también evolutivo, lo que involucra diversas escalas de tiempo y diversas escalas espaciales. El modelo de causación multinivel podemos ejemplificarlo mediante la idea de una red que representa múltiples interconexiones, implicaciones e intrincaciones, así como una red de relaciones causales. Todos los niveles de organización, desde los moleculares, pasando por el organismo, hasta aquellos ecológicos, interactúan y se codeterminan. “Causación multinivel” es un concepto que denota la complejidad causal de las relaciones, intra- e inter-entidades y procesos, que encontramos a través de los niveles de organización biológica y se define de la siguiente manera:

como definición muy general, con “causación multinivel” nos referimos a todos los mecanismos de determinación causal y codeterminación (o sea, *feedback loops*), en múltiples direcciones (*bottom-up* y *top-down*), que ocurren entre entidades y eventos a diferentes niveles de organización, y que conectan diferentes escalas temporales (Martínez & Esposito, 2014, p. 213).

Este enfoque de causalidad multinivel puede aplicarse a diferentes temas que en biología han cobrado relevancia por la complejidad que implican, tales como: selección natural, redes autocatalíticas, carcinogénesis, regeneración, ontogenia etc. Por ejemplo, con respecto a las segundas, la transición de la química orgánica a la inorgánica involucró redes auto-organizadas de estructuras moleculares cuyas propiedades dieron paso a las características básicas y generales de los sistemas vivos. Particularmente, la auto-organización de un sub-sistema fundamental como la célula se establece a través de las interacciones con el sistema completo, en donde el material funcional que edifica el sistema es fabricado en los procesos internos de la célula misma: “la causa de un componente funcional dado en una célula es la red entera de reacciones recursivas que constituyen la célula misma” (Moreno & Umerez, 2000, p. 110). Un enfoque multinivel (y, por ende, multidireccional) de la causalidad muestra cómo el sistema completo determina lo que le sucede a sus constituyentes y viceversa (cf. Martínez & Esposito, 2014, p. 215). De igual forma, la interacción entre evolución y desarrollo es mejor comprendida a partir de la causalidad multinivel:

la disociación entre el cambio fenotípico y genotípico, tanto en evolución como en desarrollo, implica que la causalidad opera en ambas direcciones, no que esos

niveles son causalmente independientes uno del otro. Y debido a que el fenotipo es en sí mismo multinivel, con aspectos morfológicos y bioquímicos, la determinación [causal] es de hecho múltiple (Newman, 2003, p. 171).

De esta forma, este marco holista multinivel de la causalidad nos brinda un enfoque complejo para comprender fenómenos biológicos diversos desde una perspectiva que, a su vez, no implica el recurso a entidades básicas fundamentales ni apela a leyes naturales. “En la naturaleza hay múltiples mecanismos, interacciones y conexiones que permiten controles retroalimentativos tanto intra- como inter-nivel de organización, los cuales pueden generar orden y complejidad en la forma y en la función de los sistemas biológicos” (Martínez & Esposito, 2014, p. 218).

CONCLUSIONES

A lo largo de estas páginas hemos señalado varias de las razones por las cuales el enfoque reduccionista y la noción de ley de la naturaleza han perdido su rol protagónico en la filosofía de la ciencia y en la ciencia misma. La investigación científica contemporánea acude a explicaciones más holistas y robustas que intentan capturar la complejidad evidente en los diversos fenómenos de la naturaleza, lo cual compagina con nuestra cada vez mayor comprensión del mundo. Los ejemplos abordados en la última sección son una prueba de ello, pues en los tres casos revisados, lo mental, la cooperación y la causalidad, se evidenció la necesidad de explicar los fenómenos incorporando todos los niveles jerárquicos de organización natural, sin asumir a ninguno como fundamental (ni ontológica, ni causal, ni epistemológicamente). Las neuronas, los genes o los átomos, cada uno en su contexto, son sólo parte de un entramado causal multidireccional que vincula también a los componentes de todos los niveles de organización, produciendo fenómenos, entidades o procesos que, por su complejidad, no pueden más que explicarse de manera holista, sin apelar a leyes naturales inquebrantables o a métodos de simplificación. La estrategia reduccionista y el ideal de ley, aunque fueron exitosos y permitieron importantes avances en nuestras teorías científicas, hoy en día se quedan cortas como bases de la explicación de la realidad, pues se requiere de enfoques complementarios, holistas y contingentes, que puedan capturar de forma más fehaciente la complejidad inherente a la naturaleza. ☞

AGRADECIMIENTOS. Agradecemos a los dos árbitros anónimos por sus oportunas recomendaciones. También estamos en deuda con el seminario de doctorado “Complejidad en las ciencias” de la UAM-Cuajimalpa, en donde discutimos muchas de las ideas aquí expuestas.

Maximiliano MARTÍNEZ
Departamento de Humanidades,
Universidad Autónoma Metropolitana, Cuajimalpa, México.
mmartinez@correo.cua.uam.mx

Eduardo GARCÍA
Doctorado en Ciencias Sociales y Humanidades,
Universidad Autónoma Metropolitana, Cuajimalpa, México.
eduardogavaz@live.com

Catherine BERNAL
Doctorado en Filosofía de la Ciencia,
Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
biocalilo@gmail.com

Reductionism, laws of nature and complexity: different strategies of research and scientific explanation

ABSTRACT

We discuss some criticisms of the reductionist approach and of the concept of “law of nature”, in order to defend that different notions and approaches to science, that are holistic in spirit, are needed to explain complexity. In the first part of the article, we show how reductionism and laws face problems that raise doubts about their epistemic usefulness. In the second part, we argue that an alternative approach, based on complexity, would overcome the limitations of reductionism and laws and open new directions and ways for scientific research, which are more in tune with contemporary science and our current knowledge of the world. Finally, we put forward some examples of research where holism and complexity are superior to approaches based on laws and reductionism.

KEYWORDS • Reductionism. Law. Complexity. Cognition. Cooperation. Causation.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTS, J. R. Simply complex: essentialism reductionism. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 2, p. 379-81, 2002.
- ANDERSEN, P. B. et al. (Ed.). *Downward causation*. Aarhus: Aarhus University Press, 2000.
- AXELROD, R. & Hamilton, W. The evolution of cooperation. *Science*, 211, 4489, p. 1390-6, 1981.
- AYALA, F. El reduccionismo en biología. In: MARTÍNEZ, S. & BARAHONA, A. (Ed.). *Historia y explicación en biología*. México: Fondo de Cultura Económica, 1998. p. 139-54.

- BRIGANDT, I. & LOVE, A. Reductionism in biology. In: ZALTA, E. N. (Ed.) *Stanford encyclopedia of Philosophy* (Spring 2017 edition), 2012. Disponible en: <<https://plato.stanford.edu/entries/reduction-biology/>>. Acceso: 10 oct. 2017.
- CAPONI, G. El reduccionismo en la biología contemporánea. *Signos Filosóficos*, 6, 12, p. 33-62, 2004.
- _____. *Requiem por el centauro: Aproximación epistemológica a la biología evolucionaria del desarrollo*. México: Centro de Estudios Filosóficos, Políticos y Sociales Vicente Lombardo Toledano, 2012.
- CARROLL, J. Laws of nature. In: Zalta, E. N. (Ed.) *Stanford encyclopedia of Philosophy* (Fall 2016 edition), 2010. Disponible en: <<https://plato.stanford.edu/entries/laws-of-nature/>>. Acceso: 10 oct. 2017.
- CARTWRIGHT, N. Do the laws of physics state facts? *Pacific Philosophical Quarterly*, 61, p. 75-84, 1980.
- CASANUEVA, M. Leyes mecanismos y modelos en biología: el caso de la genética mendeliana. *Scientiae Studia*, 15, 2, página???, 2017.
- CRAVER, C. *Explaining the brain*. Oxford: Oxford University Press, 2007.
- CURD, J. A. & COVER, M. *Philosophy of science: the central issues*. New York: Norton, 2007.
- DAWKINS, R. *The selfish gene*. Oxford: Oxford University Press, 1976.
- DIÉGUEZ, A. *La vida bajo escrutinio. Una introducción a la filosofía de la biología*. Barcelona: Biblioteca Buridán, 2012.
- DÍEZ, J. A. & MOULINES, C. U. FUNDAMENTOS DE FILOSOFÍA DE LA CIENCIA. BARCELONA: Ariel, 1993.
- GIERE, R., The skeptical perspective: science without laws of nature. In: Weinert F. (Ed.). *Laws of nature: essays on the philosophical scientific, and historical dimensions*, 1995. p. 120-38.
- GILBERT, S. & SARKAR, S. Embracing complexity: organicism for the 21st century. *Developmental Dynamics*, 219, 1, p. 1-9, 2000.
- HALL, B. & OLSON, W (Ed.). *Keywords and concepts in evolutionary developmental biology*. Cambridge: Harvard University Press, 2003.
- Hamilton, W. D. The genetical evolution of social behavior. *Journal of theoretical biology*, 7, 1, p. 1-16, 1964.
- HEMPEL, C. *Aspects of scientific explanation and others essays in the philosophy of science*. New York: The Free Press, 1965.
- HORST, S. *Beyond reduction. Philosophy of mind and post-reductionist philosophy of science*. Oxford: Oxford University Press, 2007.
- JABLONKA, E. & LAMB, M. *Evolution in four dimensions. Genetic, epigenetic, behavioral, and symbolic variation in the history of life*. Cambridge: The MIT Press. 2005.
- MAYNARD SMITH, J. & SZATHMÁRY, E. The major evolutionary transmissions. *Nature*, 374, p. 227-32, 1995.
- MARTÍNEZ, S. & BARAHONA, A. (Ed.). *Historia y explicación en biología*. México: Fondo de Cultura Económica, 1998.
- MARTÍNEZ, M. & ESPOSITO, M. Multilevel causation and the extended synthesis. *Biological Theory*, 9, p. 209-20, 2014.
- MARTÍNEZ, S. & HUANG, X. *Hacia una filosofía de la ciencia centrada en prácticas*. México: Bonilla Artigas, 2015.
- McSHEA, D. W. & BRANDON, R. *Biology's first law*. Chicago: The University of Chicago Press, 2010.
- MITCHELL, S. Dimensions of scientific law. *Journal of the Philosophy of Science*, 67, p. 242-65, 2000.
- _____. *Unsimple truths. Science, complexity and policy*. Chicago: The University of Chicago Press, 2009.
- MORENO, A. & MOSSIO, M. *Biological autonomy*. Dordrecht: Springer, 2015.
- MORENO, A. & UMEREZ, J. Downward causation at the core of living organization. In: ANDERSEN, P. B. et al. (Ed.). *Downward causation*. Aarhus: Aarhus University Press, 2000. p. 99-117.
- NEWMAN, S. A. Hierarchy. In: HALL, B. & OLSON, W (Ed.). *Keywords and concepts in evolutionary developmental biology*. Cambridge: Harvard University Press, 2003. p. 169-73.

- NEWMAN, S. A.; FORGACS G. & MÜLLER G. Before programs: the physical origination of multicellular forms. *International Journal of Developmental Biology*, 50, p. 289-99, 2006.
- NOBLE, D. *The music of life*. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- NOWAK, M. & HIGHFIELD, R. *Super cooperators: altruism, evolution and why we need each other to succeed*. New York: The Free Press, 2014.
- ODLING-SMEE, J.; LALAND, K. & FELDMAN, M. *Niche construction: the neglected process in evolution*. Princeton: Princeton University Press, 2003.
- OKASHA, S. Multil-level selection and the major transitions in evolution. *Philosophy of Science*, 72, p. 1013-25, 2005.
- OYAMA, S. *The ontogeny of information: developmental systems and evolution*. Durham: Duke University Press, 2000.
- OPPENHEIM, P. & PUTNAM, H. Unity of science as a working hypothesis. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, 2, p. 3-36, 1958.
- ROSENBERG, A. & MCSHEA, D. W. *Philosophy of Biology: a contemporary introduction*. New York: Routledge, 2008.
- SOBER, E. & WILSON, D. S. *Unto others: the evolution and psychology of unselfish behavior*. Cambridge: Harvard University Press. 1999.
- SUÁREZ, E. Reduccionismo y biología en la era posgenética. *Ciencias*, 79, p. 54-64, 2005.
- TRIVERS, R. The evolution of reciprocal altruism. *The Quarterly Review of Biology*, 46, 1, p. 35-57, 1971.
- VAN FRAASSEN, B. *Laws and symmetry*. Oxford: Clarendon Press, 1989.
- VAN RIEL, R. & VAN GULICK, R. Scientific reduction. In: Zalta, E. N. (Ed.) *Stanford encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 edition), 2014. Disponible en: <<https://plato.stanford.edu/entries/scientific-reduction/>>. Acceso: 10 oct. 2017.
- WEINERT F. (Ed.). *Laws of nature: essays on the philosophical, scientific, and historical dimensions*, 1995.
- WEISS, K. & BUCHANAN, A. *The Mermaid's tale*. Cambridge: Harvard University Press, 2009.
- WILSON, E. O. *Sociobiology: the new synthesis*. Cambridge: Harvard University Press, 1975.
- WIMSATT, W. *Re-engineering philosophy for limited beings*. Cambridge: Harvard University Press, 2007.
- ZALTA, E. N. (Ed.) *Stanford encyclopedia of Philosophy*. Stanford: University of Stanford Press, 2012.

